

## Ausgabe 2014

- **Verbesserung der Tragfähigkeit von Ankerplatten mit angeschweißten Kopfbolzen in stabförmigen Stahlbetonbauteilen AiF-Vorhaben Nr. 17028**
- **Einfluss von Querkraftanschlüssen auf das Biegedrillknicken von Einfeldträgern AiF-Vorhaben Nr. 16872**
- **Schweißen von kaltumgeformten Bauteilen – Kriterien für die Werkstoffauswahl AiF-Vorhaben Nr. 16518**
- **Optimierter Einsatz intumeszierender Anstriche im Stahlbau AiF-Vorhaben Nr. 17200**
- **Ermüdungsfestigkeit von Montagestößen in Vollwandträgern mit dicken Gurten AiF-Vorhaben Nr. 17104**

### Zusammenfassung zum Forschungsvorhaben AiF-Nr. 17028

#### **Verbesserung der Tragfähigkeit von Ankerplatten mit angeschweißten Kopfbolzen in stabförmigen Stahlbetonbauteilen**

Anschlüsse zwischen Stahl- und Betonbauteilen lassen sich heutzutage schnell und kostengünstig mittels Ankerplatten mit angeschweißten Kopfbolzen realisieren. Ankerplatten mit Kopfbolzen sind insbesondere bei Einsatz von Rückhängebewehrung im Beton sehr tragfähig und ermöglichen ein duktileres Tragverhalten des Anschlusses. Die aktuellen Bemessungsregeln nach CEN/TS 1992-4 in Kombination mit der Zulassung des verwendeten Befestigungsmittels lassen einen wirtschaftlichen Einsatz von diesen Anschlüssen jedoch kaum zu, da die Berücksichtigung der im Bauteil vorhandenen Bewehrung sehr eingeschränkt wird. Dies gilt insbesondere für Ankerplatten in schmalen Stahlbetonbauteilen (z.B. Stützen), obwohl gerade dort

die ohnehin vorhandene Bügelbewehrung zu hohen Traglasten beiträgt.

Im Forschungsvorhaben "Verbesserung der Tragfähigkeit von Ankerplatten mit angeschweißten Kopfbolzen in stabförmigen Stahlbetonbauteilen" standen Ankerplatten mit Kopfbolzen in schmalen Stahlbetonbauteilen unter Schubbelastung quer zum Bauteilrand und der damit auftretende Betonkantenbruch im Fokus. Ziel war es, mit Hilfe von experimentellen sowie numerischen Untersuchungen ein Komponentenmodell zu entwickeln, das die Tragfähigkeit von Ankerplatten unter Querschub- sowie zentrischer Zugbeanspruchung realistisch wiedergibt.

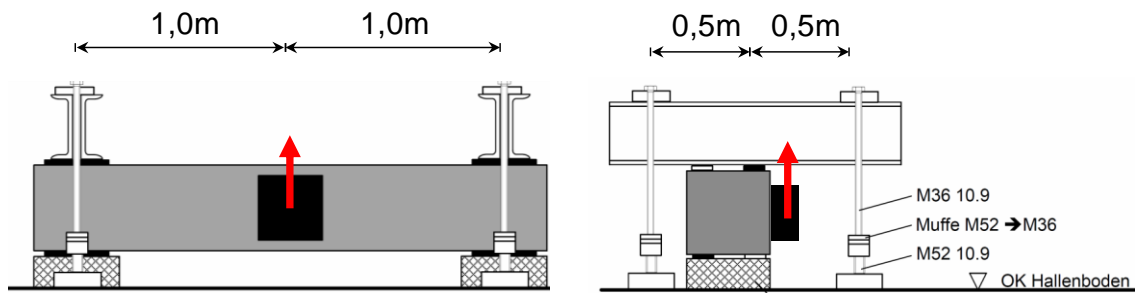
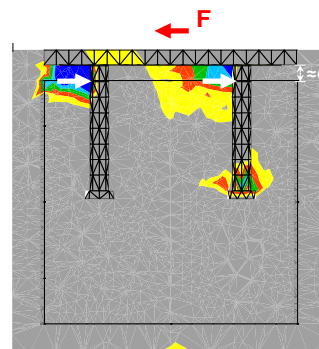


Abbildung 1: Skizze des Versuchsaufbaus für die Schubversuche

Im Rahmen dieses Forschungsprojektes wurden Versuche in stabförmigen Bauteilen an der MPA Stuttgart durchgeführt (siehe Abbildung 1). Aufbauend auf Basiskörpern mit einer Standardbügelbewehrung umfasste das Versuchsprogramm Ankerplatten mit Kopfbolzen unter Schub quer zum Bauteilrand mit zwei unterschiedlichen Lastexzentrizitäten, so dass einerseits ein überwiegend schubbeanspruchter Anschluss, andererseits aber auch Ankerplatten unter einem hohen Moment geprüft wurden. Außerdem fanden auch reine Zugversuche statt. Für Ankerplatten unter Querschubbelastung konnten infolge der eingesetzten Bügelbewehrung hohe Tragfähigkeiten sowie ein duktiler Tragverhalten festgestellt werden. Die meisten Versuche fanden im ungerissenen Beton statt, einige Konfigurationen wurden aber auch im gerissenen Beton durchgeführt. Dabei wurde ein Riss durch die Dübelreihe auf der lastabgewandten Seite der Verankerung induziert, um die Zugkomponente der momentenbeanspruchten Ankerplatte zu schwächen und deren Auswirkung auf die Tragfähigkeit der Ankerplatte zu erörtern. Es fanden auch Zugversuche in gerissenen Beton statt.

Des Weiteren wurden umfangreiche Berechnungen mit dem FE-Programm MASA durchgeführt. Die FE-Modelle wurden an den Versuchsergebnissen verifiziert, so dass Parameterstudien für die untersuchten Ankerplatten für zentrischen Zug, reinen Schub quer zur Bauteilkante sowie Schub mit Exzentrizität durchgeführt werden konnten. Um ein Komponentenmodell für einen möglichst großen Parameterbereich entwickeln zu können, wurden für alle drei Belastungsarten die in den Versuchen verwendeten Konfigurationen der Ankerplatten herangezogen und jeweils der Durchmesser der Bügel sowie die Betonfestigkeit variiert (siehe Abbildung 2).

Abbildung 2: Druckspannungen im Beton in Belastungsrichtung



Im Allgemeinen zeigte sich, dass sich die

Traglast der Ankerplatten durch die Erhöhung der Bügelanzahl im Verankerungsbereich, des Durchmessers der Bügel sowie der Betonfestigkeit steigern lässt. Bei zugbeanspruchten Ankerplatten führte die Steigerung des Durchmessers der Bügelbewehrung, die die auftretende Belastung auf die Ankerplatte unter Zusammenwirkung des Betons mitträgt, zu einer Erhöhung der Traglasten, jedoch nur bis zu einem Maximum. Obwohl die Bügel aufgrund des schmalen Betonkörpers auf der lastabgewandten Seite nicht genügend verankert sind, konnten beim Betonkantenbruch dennoch hohe Tragfähigkeiten festgestellt werden, die sich auch in einem Bemessungsmodell widerspiegeln.

Im Rahmen des Projektes wurde ein Komponentenmodell zur Berechnung der Tragfähigkeit der Ankerplatten in schmalen Stahlbetonbauteilen unter Schub quer zum Bauteilrand, Längsschub oder zentrischem Zug entwickelt. Alle wirksamen Zug- und Schubkomponenten wurden zu einem mechanischen Modell für den Gesamtanschluss zusammengestellt. Die Betonkomponenten mit Rückhängebewehrung berücksichtigen das Zusammenwirken des Betons mit der Bewehrung, so dass deren Tragfähigkeit sich nicht nur aus der Tragfähigkeit der Bewehrungsstäbe alleine, sondern auch aus einem Betonanteil zusammensetzt.

Das Komponentenmodell gibt die Tragfähigkeit der Anschlüsse zufriedenstellend wieder und ermöglicht in der Praxis ein großes Anwendungsfeld für Anschlüsse mittels Ankerplatten mit angeschweißten Kopfbolzen.

Das Forschungsvorhaben wurde an der Universität Stuttgart, Institut für Konstruktion und Entwurf, durchgeführt.

Das IGF-Vorhaben 17028 der Forschungsvereinigung Deutscher Ausschuss für Stahlbau wurde über die AiF im Rahmen des Programms zur Förderung der Industriellen Gemeinschaftsforschung (IGF) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie gefördert. Den Förderern sei für die Unterstützung und Hilfe bei der vorliegenden Arbeit bestens gedankt. Der Bericht ist über die Stahlbau Verlags- und Service GmbH, Sohnstr. 65, 40237 Düsseldorf, Fax: 0211/6707821 zu beziehen

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages



## Zusammenfassung zum Forschungsvorhaben AiF-Nr. 16872

### Einfluss von Querkraftanschlüssen auf das Biegedrillknicken von Einfeldträgern

Querkraftanschlüsse stellen eine häufig verwendete oberkantenbündige Verbindungsmöglichkeit eines Nebenträgers an einen Hauptträger dar.

Hierbei zeichnen sich insbesondere lange Fahnenblechanschlüsse durch ihre Vorteile in der Montage aus. Ausgeklinkte Träger mit Doppelwinkel- oder Fahnenblechanschlüssen müssen aufgrund der Ausklinkung des Nebenträgers umständlich zwischen die Hauptträger eingeschwenkt werden, stellen aber nichts desto trotz eine gerne verwendete Anschlussform mit großer Tradition dar. Allen Varianten gemein ist die Tatsache, dass sie kein Gabellager bilden, sondern ein torsionsweiches Auflager. Damit sind die üblichen Berechnungsmöglichkeiten zur Ermittlung des idealen Biegedrillknickmomentes  $M_{cr}$  nicht anwendbar. Um für Träger mit diesen Anschlüssen  $M_{cr}$  ermitteln zu können und damit die Grundlage für einen normkonformen Nachweis zu legen, bedurfte es einiger eingehender Untersuchungen. Im Rahmen des AiF-Forschungsvorhabens 16872 N wurden diese Untersuchungen am Lehrstuhl für Metallbau der Technischen Universität München durchgeführt.

Der erste Teil des Beitrags beschäftigt sich mit den wissenschaftlichen Hintergründen. Im zweiten Teil wird auf die Erkenntnisse der Parameterstudie, das Ersatzmodell zur Ermittlung von  $M_{cr}$  sowie auf die weiteren Hilfsmittel, aufbereitet für die Praxis, eingegangen.

Das Forschungsvorhaben wurde an der Technischen Universität München, Lehrstuhl für Metallbau, Institut für Baustoffe und Konstruktion, durchgeführt.

Das IGF-Vorhaben 16872 der Forschungsvereinigung Deutscher Ausschuss für Stahlbau DAST wurde über die AiF im Rahmen des Programms zur Förderung der Industriellen Gemeinschaftsforschung (IGF) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie gefördert. Den Förderern sei für die Unterstützung und Hilfe bei der vorliegenden Arbeit bestens gedankt. Der Bericht ist über die Stahlbau Verlags- und Service GmbH, Sohnstraße 65, 40237 Düsseldorf, Fax: 0211/6707821 zu beziehen.

Gefördert durch:



Bundesministerium  
für Wirtschaft  
und Energie



aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

## Zusammenfassung Forschungsvorhaben AiF-Nr. 16518

### Schweißen von kaltumgeformten Bauteilen – Kriterien für die Werkstoffauswahl

Im Stahlbau und im Anlagenbau ist es gängige Praxis, dass Stahlprofile jeglicher Art durch Kaltumformen hergestellt werden. Das Kaltumformen kann z.B. an Blechen durch Schwenkoder Gesenkbiegen ausgeführt werden. Eine der häufigsten Fügemethode im Stahlbau ist das Lichtbogenschweißen. Somit ist es häufig unumgänglich, dass kaltumgeformte Bauteile im Bereich der Kaltumformung verschweißt werden. Durch das Forschungsvorhaben sollten die vorhandenen Regeln für das Schweißen im kaltumgeformten Bereich in Bezug auf die heute verfügbaren Stähle überprüft und vereinheitlicht werden.

Dazu wurden zuerst die aktuelle Normungssituation und die Grundlagen der Problemstellung erarbeitet. Hierbei wurde besonders die theoretische Berechnung des Kaltumformgrades bei Blechen betrachtet. In einem nächsten Schritt wurde eine sinnvolle Materialauswahl getroffen, bei der ein besonderes Augenmerk auf der Kerbschlagarbeit lag. Entsprechend den heutigen Anwendungsfällen, wurde dann ein Versuchskonzept zur Durchführung von Sprödbbruchversuchen entwickelt.

Experimentell wurde das Verhalten von kaltumgeformten und geschweißten Bauteilen bei tiefen Einsatztemperaturen erprobt.

Es wurden 20 Sprödbbruchversuche an kaltumgeformten und geschweißten Blechen aus S355J2 durchgeführt. Bei den Versuchskörpern wurden die Umformradien variiert und somit sehr

große und kleine Umformgrade untersucht.

Die Versuche zeigen, dass mit zunehmendem Kaltumformgrad die Sprödbbruchgefahr bei tiefen Temperaturen zunimmt.

Parallel zu der Fertigung der Versuchskörper wurde eine Reihe von Prozessparametern an Referenzproben ermittelt. Diese Parameter sind in die Simulation der einzelnen Prozessschritte eingeflossen und dienen zur Verifikation der FE-Modelle. Ein durchgängiger Simulationsansatz hat dazu geführt, dass es möglich war, die Verschiebungen am FE-Netz aus der Umformsimulation in die Schweißsimulationsumgebung zu übergeben.

Auf Grundlage weiterer FE-Simulationen wurden bruchmechanische Berechnungen durchgeführt, um die Ergebnisse der Sprödbbruchversuche zu bewerten.

Schließlich wurden parallel zu den einzelnen Fertigungs- und Simulationsritten metallurgische Untersuchungen an den verwendeten Stählen durchgeführt. Diese Erkenntnisse sind wiederum in die Simulation zum Sprödbbruchversagen der Bauteile eingeflossen.

Zusammenfassend lässt sich sagen: mit Hilfe ausführlicher experimenteller und numerischer Untersuchungen wurde das Schweißen im kaltumgeformten Bereich umfassend analysiert. Es wurden ausführliche Bewertungen zum Sprödbbruchverhalten von kaltumgeformten und geschweißten Bauteilen

durchgeführt. Das Ziel des Forschungsvorhabens wurde erreicht. Das Forschungsvorhaben wurde an der Universität Stuttgart, unter der Leitung von Frau Prof. Dr.-Ing. Ulrike Kuhlmann, durchgeführt.

Das IGF-Vorhaben 16518 der Forschungsvereinigung Deutscher Ausschuß für Stahlbau (DASt) wurde über die AiF im Rahmen des Programms zur Förderung der Industriellen Gemeinschaftsforschung (IGF), aus Mitteln des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestage gefördert.

Den Förderern sei für die Unterstützung und Hilfe bestens gedankt.

Der Bericht ist über die Stahlbau Verlags- und Service GmbH, Sohnstr. 65, 40237 Düsseldorf, Fax: 0211/6707821 zu beziehen.

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages



## Zusammenfassung zum Forschungsvorhaben AiF-Nr. 17200

### Optimierter Einsatz intumeszierender Anstriche im Stahlbau AiF-Vorhaben

Intumeszierende (dämmschichtbildende) Anstriche stellen eine Möglichkeit passiver Brandschutzmaßnahmen von Stahlbauten dar. Sie bieten – im Vergleich zu Verkleidungen oder Spritzputzen - die einzigartige und für die moderne Architektur unverzichtbare Möglichkeit, sichtbaren Stahl in Tragwerken mit einer Anforderung an den Feuerwiderstand von 30 bis teilweise 90 Minuten zu realisieren. Bei Stützen, deren eine Seite von Fassadenelementen verdeckt sind, ist jedoch unklar, ob ein Schutz der drei zugänglichen und damit beflamnten Seiten zur Gewährleistung der erforderlichen Brandsicherheit ausreichend ist.

Zudem fehlen Ingenieurmethoden zur Quantifizierung des Einflusses der Fassadenelemente auf das Erwärmungsverhalten der Stützen. Eine ähnliche Situation liegt bei Trägern mit aufliegendem Profilblech vor. Hier spielen zusätzlich Abschattungseffekte und Konvektionsverhältnisse im Bereich der Trapezblechsicken eine wichtige Rolle.

Im Projekt wurden umfangreiche Brandversuche an typischen baupraktischen Einbausituationen durchgeführt.

Auf Basis der Versuchsergebnisse und begleitender numerischer Untersuchungen unseres Forschungspartners, des Instituts für Stahlbau der LU Hannover, wurden Konzepte zur sicheren Beurteilbarkeit der im Projekt untersuchten Einbausituationen entwickelt. Es zeigte sich, dass in nahezu allen betrachteten Fällen die Fassadenelemente einen ausreichenden Schutz der Stützen sicherstellen können. Bei Trapezprofilen mit hohen Sicken liegen jedoch ungünstigere Verhältnisse vor. Das Projekt leistet damit einen wichtigen Beitrag zum breiten und sicheren Einsatz intumeszierender Anstriche im Stahlbau.

Das IGF-Vorhaben 17200 der Forschungsvereinigung Deutscher Ausschuß für Stahlbau (DASt) wurde über die AiF im Rahmen des Programms zur Förderung der Industriellen Gemeinschaftsforschung (IGF), aus Mitteln des

Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert. Den Förderern sei für die Unterstützung und Hilfe bestens gedankt.

Der Bericht ist über die Stahlbau Verlags- und Service GmbH, Sohnstr. 65, 40237 Düsseldorf, Fax: 0211/6707821 zu beziehen.

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages



## Zusammenfassung zum Forschungsvorhaben AiF- Nr. 17104

### Ermüdungsfestigkeit von Montagestößen in Vollwandträgern mit dicken Gurten

Im Rahmen des Projektes wurden experimentelle und numerische Untersuchungen an mehrteiligen Montagestößen in Vollwandträgern untersucht. Ein Typisches Beispiel, der Lamellenstoß, wird häufig im Brückenbau eingesetzt, um mehrteilige Gurte auf der Baustelle durch Schweißen zu verbinden. Durch das Forschungsvorhaben sollte das in Deutschland existierende Konstruktionsdetail Lamellenstoß aus Sicht der Ermüdungsfestigkeit experimentell und numerisch weiter untersucht werden. Bisher hat das Konstruktionsdetail auf Grund von fehlender Versuchsergebnisse keinen Einzug in die europäische Normung erhalten. Das Forschungsprojekt sollte hierzu einen innovativen Beitrag leisten.

Experimentell wurde die Ermüdungsfestigkeit am Lamellenstoß an 35 Schwingversuchen ermittelt. Es wurden Untersuchungen zum Blechdickenunterschied und zum Maßstabeffekt durchgeführt. Die Ergebnisse zeigen, dass bei den Lamellenstößen ein ausgeprägter Maßstabeffekt vorliegt und dieser bei der Bemessung berücksichtigt werden muss. Desweiteren zeigen die Versuchsergebnisse, dass die Kerbfalleinordnung in DIN Fachbericht 103

auf der sicheren Seite liegen. Ergänzend zu den experimentellen Untersuchungen wurden numerische Berechnungen durchgeführt.

Die im Forschungsantrag vorgesehenen Untersuchungen zum Einfluss einer Nachbehandlung mit dem höherfrequenten Hämmerverfahren wurden am Anfang des Projektes in Absprache mit dem projektbegleitenden Ausschuss durch Versuche am alternative Konstruktionsdetail Treppenstoß ersetzt. Auch diese Ergebnisse zeigen, dass die Stirnfugennaht einen erheblichen Einfluss auf die Ermüdungsfestigkeit hat.

In den letzten Jahren kommt die für den Stahlbau relativ neue Ultraschalltechnik Phased Array verstärkt zum Einsatz. Durch Untersuchungen an den Versuchskörpern wurde diese Technik erfolgreich am Lamellenstoß erprobt. Desweiteren wurden Versuche zur Dokumentation des Risswachstums mit Phased Array durchgeführt.

Zusammenfassend lässt sich sagen: mit Hilfe ausführlicher experimenteller und numerischer Untersuchungen wurde das Konstruktionsdetail Lamellenstoß umfassend analysiert. Es wurden ausführliche Versuche und Berechnungen zum Ermüdungsverhalten

durchgeführt. Das Ziel des Forschungsvorhabens wurde erreicht.

Das IGF-Vorhaben 17104 der Forschungsvereinigung Deutscher Ausschuß für Stahlbau (DASst) wurde gemeinsam mit der Universität Stuttgart, Institut für Konstruktion und Entwurf, unter Leitung von Frau Prof. Kuhlmann, durchgeführt und über die AiF im Rahmen des Programms zur Förderung der Industriellen Gemeinschaftsforschung und -entwicklung (IGF) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie gefördert.

Der Bericht ist über die Stahlbau Verlags- und Service GmbH, Sohnstr. 65, 40237 Düsseldorf, zu beziehen.

Gefördert durch:



Bundesministerium  
für Wirtschaft  
und Energie

aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

